

CLIPPEDIMAGE= JP406350563A

PUB-NO: JP406350563A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 06350563 A

TITLE: WAVELENGTH MULTIPLE NETWORK

PUBN-DATE: December 22, 1994

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

OBARA, HITOSHI

INT-CL\_(IPC): H04J014/02; H04B010/02

ABSTRACT:

PURPOSE: To quickly restore even an optical fiber fault with simple configuration by easily forming a wavelength multiplex network of a larger scale and allowing the network to easily cope with even a biased traffic demand and using the network for a broad area network.

CONSTITUTION: A 3-layer distribution means (routing network) is made up of star coupler 440 and filters 480-482 and the means distributes a received signal and its input output ports are connected by switch circuits 410-412, 480-482.

Since the wavelength multiplex network shown in figure is equivalent to a known 3-stage switch circuit, the connection between optional input and output ports is attained. Furthermore, the operating wavelength range of wavelength variable lasers 420-428 is enough to be 1/3 of a conventional range and the network is easily formed totally such that the means is realized by an electric circuit (LSI) when an input output signal is an electric signal.

COPYRIGHT: (C)1994,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平6-350563

(43) 公開日 平成6年(1994)12月22日

(51) IntCl.<sup>5</sup>

H 0 4 J 14/02

H 0 4 B 10/02

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

9372-5K

9372-5K

H 0 4 B 9/00

E

T

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 24 頁)

(21) 出願番号 特願平5-139642

(22) 出願日 平成5年(1993)6月10日

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号

(72) 発明者 小原 仁

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

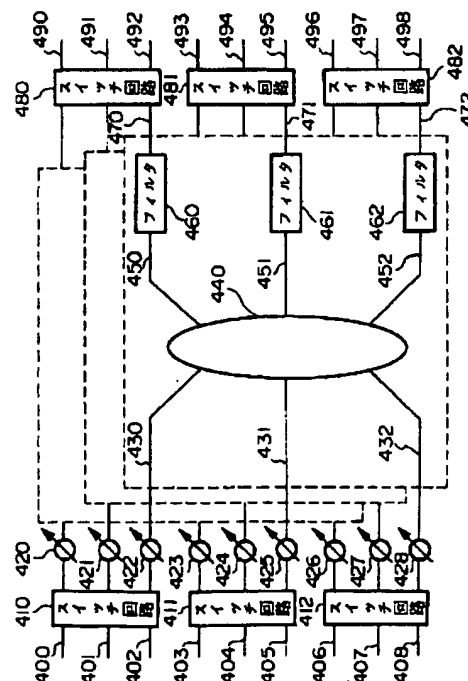
(74) 代理人 弁理士 志賀 正武

(54) 【発明の名称】 波長多重ネットワーク

(57) 【要約】

【目的】 より大規模な波長多重ネットワークを容易に構成し、また、偏ったトラヒック需要にも容易に対応し、また、広域的なネットワークにも適用可能であり、光ファイバ故障に対しても簡易な構成で迅速に復旧可能とする。

【構成】 スターカップラ440と、フィルタ480～482とより3層の分配手段（ルーティング網）を構成し、これより入力される信号を分配し、その入出力ポートをスイッチ回路410～412、480～482によって接続する。したがって、図示する波長多重ネットワークは、既知の3段スイッチ回路と等価であるため、任意の入出力ポート間の接続が可能である。また、波長可変レーザ420～428の動作波長範囲は従来のものに比べ1/3でよく、入出力信号が電気信号の場合は電気回路（LSI）で実現できるなど、総合的に容易に構成可能である。



1

2

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 複数の入力ポートを収容する送信ノードと複数の出力ポートを収容する受信ノードとを少なくとも1つ含む複数の局と、これら送受信ノード間を光ファイバ網により接続して構成される波長多重ネットワークにおいて、

前記送信ノードの各々は、

複数の入力ポートと、

前記複数の入力ポートと少なくとも同数設けられ、各々、発振波長が異なるレーザ光源と、

前記複数の入力ポートと前記レーザ光源とを選択的に接続する第1のスイッチ手段とを有し、

前記受信ノードの各々は、

複数の出力ポートと、

前記出力ポートの前段に、受信ノードに入力される信号を選択的に前記出力ポートに導く第2のスイッチ手段とを有し、

各送受信ノード間を接続する前記光ファイバ網が入力光信号の波長により出力端子を設定する波長ルーチング光ファイバ網であることを特徴とする波長多重ネットワーク。

【請求項2】 前記送信ノードが有するレーザ光源は、入出力ポート間の接続要求に応じて発振波長が可変の発振波長可変レーザであることを特徴とする請求項1記載の波長多重ネットワーク。

【請求項3】 前記送信ノードが有するレーザ光源は、入力された光信号の波長を指定の波長の光信号に変換して出力する光波長変換デバイスであり、前記第1のスイッチ手段は、前記複数の入力ポートと前記光波長変換デバイスとを選択的に接続する光空間スイッチであるとともに、

前記受信ノードが有する前記第2のスイッチ手段は、受信ノードに入力される光信号の波長を指定の波長の光に変換して出力する光波長変換デバイスと、前記光波長変換デバイスが出力する光信号を選択的に前記出力ポートに導く光空間スイッチとからなることを特徴とする請求項1記載の波長多重ネットワーク。

【請求項4】 前記波長ルーチング光ファイバ網は、1つまたは複数の光スターカップラと、

受信ノードとの接続部と前記光スターカップラとの間に設置され、所定の波長の信号光のみを透過する光波長分離手段と、

送信ノードとの接続部と前記光スターカップラ、および前記光スターカップラと前記光波長分離手段とを接続する複数の光ファイバとを具備することを特徴とする請求項1、2または3記載の波長多重ネットワーク。

【請求項5】 前記波長ルーチング光ファイバ網は、

1つ、または動作波長域の異なる複数の光マルチプレクサと、

送受信ノードとの接続部と前記光マルチプレクサとを接

続する光ファイバとを具備することを特徴とする請求項1、2または3記載の波長多重ネットワーク。

【請求項6】 前記送信ノードと受信ノードとの間に、前記波長ルーチング光ファイバ網が複数個接続され、前記送信ノードの各レーザ光源と、前記受信ノードの各スイッチ手段の入力端子とが、それぞれ前記複数の波長ルーチング光ファイバ網のいずれかに接続されることを特徴とする請求項1、2、3、4または5記載の波長多重ネットワーク。

10 【請求項7】 前記光マルチプレクサの1つの入力端子に前記レーザ光源の2つ以上が接続されることを特徴とする請求項5記載の波長多重ネットワーク。

【請求項8】 前記波長ルーチング光ファイバ網は、2回線以上の光ファイバ線路を有する重畳構成を有し、送信ノードは、前記重畳構成の光ファイバ線路の中の1つを選択して光信号を送出する送出手段を有し、受信ノードは、前記重畳構成の光ファイバ線路からの入力光信号を合波する合波手段を有することを特徴とする請求項1、2、3、4、5、6または7記載の波長多重ネットワーク。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】この発明は、送信側で発振波長の異なる複数のレーザ光源を、それぞれ送信信号で変調し、光ファイバに波長多重して送出し、受信側で波長多重された光信号を各波長毎に分離し、送信信号を復調して受信する波長多重ネットワークに関する。

【0002】

【従来の技術】従来、最もよく知られている波長多重ネットワークの一構成を図16に示す。図において、100～108は送信電気信号（デジタル信号を想定）の入力ポート、110～118は送信電気信号により光出力を変調する変調手段を有し、発振波長が可変のレーザ光源（各レーザの発振波長は互に異なる）である。また、120～128はレーザ光源からの光出力が収容される光ファイバ、130～132は各光ファイバより入力された波長の異なる光信号を波長多重化する波長多重回路、140～142は波長多重された光信号を伝送する光ファイバである。次に、150は入力された各波長多重信号を全ての出力光ファイバに均等に分配する3入力×3出力のスターカップラ、160～162はスターカップラの出力光ファイバである。また、170～172は1入力×3出力のカップラ、180～188はカップラ170～172の出力光ファイバであり、全てのレーザ光源からの光信号が波長多重されている。190～198は、波長多重された光信号の中から指定の波長の光を抽出するチューナ（光学的な帯域通過フィルタ）および抽出された光信号を電気信号に変換するとともに、変調された送信信号を復調する手段を有する受信回路、1a0～1a8は受信電気信号の出力ポートである。

【0003】レーザを送信電気信号で変調する方法としては、レーザ自身のバイアス電流などを変化させる内部変調とレーザの外部に変調器を設置する外部変調とがあり、変調方式としては、振幅変調、周波数変調、位相変調などがあり、それに対応した変調器および復調器が必要となる。これらの回路構成は、従来からよく知られており、また、本発明の本質とは関係が深くないため、その詳細構成については省略する（以下の実施例についても同様である）。波長可変のレーザとしては、DFB/DBRレーザのように、バイアス電流や温度により発振波長が制御できるものや、外部共振器の中心波長を変化させることにより発振波長を制御するものなどが従来よりよく知られている。これらの波長可変レーザの種類および波長制御方法についても、本発明の本質とは関係が深くないため、その詳細構成については省略する（以下の実施例についても同様である）。

【0004】図16において、任意の入力ポート（入力ポート100～108のいずれか）と任意の出力ポート（出力ポート1a0～1a8のいずれか）は以下に述べる原理で接続される。すなわち、接続される出力ポートに対応するレーザ光源の光出力信号は、図16の波長多重ネットワークの動作により、全ての受信回路に分配されるから、その発振波長を接続先の出力ポートに対応する波長 $\lambda_j$ とすれば、これらの入出力ポートは自動的に接続される。このように、図16の波長多重ネットワークは、入出力ポートの接続のために、物理的にリンクの経路を変えるような可動部分がなく、固定的に張られた少数の光ファイバとスターカップラで構成され、単に、レーザ光源の発振波長を変えるだけで、回線設定が可能であるという特徴がある。

【0005】しかしながら、上述した構成は、入出力ポート数に比例してレーザ光源の波長可変範囲が大きくなることと、受信回路の入力光信号レベルが小さくなるため、大規模なネットワークには適用できないという欠点があった。上記欠点を解決した従来の波長多重ネットワークの第2の構成を図17に示す。200～208は図16の入力ポートと、それに対応するレーザ光源の出力ファイバである120～128に対応した出力ファイバであり、入力ポートと、それに対応するレーザ光源を省略している。210～212は図16に示す波長多重回路130～132と同様の波長多重回路、220～222は出力光ファイバ140～142に対応した波長多重回路の出力光ファイバ、230は入力光ファイバからの波長多重された光信号をそれらの波長に対応した出力光ファイバ240～242にルーチングする光マルチプレクサである。この光マルチプレクサの動作の詳細については後述する。250～252は波長多重された光入力信号を各波長毎に分離する波長分離回路、260～268は単一波長の光出力信号である。これらの光出力信号260～268を電気信号に変換するとともに、変調さ

れた送信信号を復調する手段を有する受信回路が必要であるが、図16と同じであるため省略する。

【0006】図17の全体の動作を説明するために、最初に光マルチプレクサ230の基本動作について図18を参照して説明する。光マルチプレクサ230の動作は各入力ポートからの波長多重された信号のルーチングの重ね合わせとなるため、その動作を各入力ポート対応に示す。図18(a)に示す動作モード1は、入力ポート220からの波長多重された光信号（波長数=3）が出力ポート240～242にどのようにルーチングされるかを示しており、波長 $\lambda_1$ の光信号が入力ポート220と同位置の出力ポート240にルーチングされ、波長 $\lambda_2$ と $\lambda_3$ の光信号が各々、2番目と3番目の出力ポート241、242にルーチングされる。次に、図18(b)に示す動作モード2は、入力ポート221からの波長多重された光信号（波長数=3）が出力ポート240～242にどのようにルーチングされるかを示しており、動作モード1と同様に波長 $\lambda_1$ の光信号が入力ポート221と同位置の出力ポート241にルーチングされ、波長 $\lambda_2$ の光信号がその下の3番目の出力ポート242にルーチングされる。波長 $\lambda_3$ の光信号は1番目の出力ポート240にルーチングされる。このように、入力された光信号は、波長 $\lambda_1$ を基準として巡回的に出力ポートにルーチングされる性質がある。図18(c)に示す動作モード3においても同様である。

【0007】さて、図17に示す出力光ファイバ220～222は、それぞれ波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ の光信号が多重されているので、それらがどの入力ポートのものかを区別するため、例えば、入力ポート1の $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ は、 $\lambda_{11}$ 、 $\lambda_{12}$ 、 $\lambda_{13}$ のように、1番目の添字が入力ポート番号、2番目の添字が波長種別を示すものとする。図18(a)～(c)に示す各動作モードより、光マルチプレクサ230の出力ポートには、図17に示すように、各入力ポートより1つの波長がルーチングされて、全体として波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ の光信号が多重化されることになり、波長分離回路250～252で各波長毎に分離される。この結果、図17に示す波長多重ネットワークでは、波長多重回路210～212と波長分離回路250～252との間は、それぞれ1つの波長を介して接続されることになる。この構成では、図16に示すように、光信号の分配による光レベルの低下がなく、また、光マルチプレクサ230の各入出力ポートでは、同一波長の光信号が繰り返して使用されるため、レーザ光源の波長可変範囲が小さくてよい。この結果、図16に示す従来の波長多重ネットワークの欠点を解決できるという特徴がある。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述した図16に示す従来の波長多重ネットワークでは、任意の入出力ポートの接続が可能（以下、この性能をノンブ

ロックと呼ぶ)であったのに対し、図17に示す波長多重ネットワークの構成では接続できない場合がある。例えば、図17において、入力ポート200、201、202を出力ポート260、261、262に接続する場合、それらの1つのみが接続可能であり、残りの2つは接続不可能である。波長多重回路210~212、波長分離回路250~252に収容される入出力ポートが、各地域に割り当てられたチャネルに相当すると考えると、図17に示す波長多重ネットワークは、各地域間に均等なトラヒック需要がある場合には効率がよいが、偏ったトラヒック需要がある場合には対処できないという欠点がある。

【0009】以上のように、図16と図17に示す従来の2つの波長多重ネットワークの構成は、光信号の分配による信号レベルの低下とレーザ光源の波長可変幅がポート数に比例して増大することに起因して大規模なネットワークが構築できないという第1の欠点、もしくは、任意の入出力ポートの接続が不可能なことに起因して多様なトラヒック需要に対応できないという第2の欠点の少なくとも一方を有していた。また、図16と図17に示す従来の2つの波長多重ネットワークの構成は、ファイバが故障すると、その故障が修理により復旧するまで、サービスが長時間、中断されるという欠点を有していた。

【0010】この発明は上述した事情に鑑みてなされたもので、より大規模な波長多重ネットワークが容易に構成でき、また、偏ったトラヒック需要にも容易に対応でき、また、広域的なネットワークにも適用でき、さらに、光ファイバ故障に対しても簡易な構成で迅速に復旧できる波長多重ネットワークを提供することを目的としている。

【0011】

【課題を解決するための手段】 上述した問題点を解決するために、請求項1記載の発明では、複数の入力ポートを収容する送信ノードと複数の出力ポートを収容する受信ノードとを少なくとも1つ含む複数の局と、これら送信ノード間を光ファイバ網により接続して構成される波長多重ネットワークにおいて、前記送信ノードの各々は、複数の入力ポートと、前記複数の入力ポートと少なくとも同数設けられ、各々、発振波長が異なるレーザ光源と、前記複数の入力ポートと前記レーザ光源とを選択的に接続する第1のスイッチ手段とを有し、前記受信ノードの各々は、複数の出力ポートと、前記出力ポートの前段に、受信ノードに入力される信号を選択的に前記出力ポートに導く第2のスイッチ手段とを有し、各送受信ノード間を接続する前記光ファイバ網が入力光信号の波長により出力端子を設定する波長ルーチング光ファイバ網であることを特徴とする。

【0012】また、請求項2記載の発明では、請求項1記載の波長多重ネットワークにおいて、前記送信ノード

が有するレーザ光源は、入出力ポート間の接続要求に応じて発振波長が可変の発振波長可変レーザであることを特徴とする。また、請求項3記載の発明では、請求項1記載の波長多重ネットワークにおいて、前記送信ノードが有するレーザ光源は、入力された光信号の波長を指定の波長の光信号に変換して出力する光波長変換デバイスであり、前記第1のスイッチ手段は、前記複数の入力ポートと前記光波長変換デバイスとを選択的に接続する光空間スイッチであるとともに、前記受信ノードが有する前記第2のスイッチ手段は、受信ノードに入力される光信号の波長を指定の波長の光に変換して出力する光波長変換デバイスと、前記光波長変換デバイスが出力する光信号を選択的に前記出力ポートに導く光空間スイッチとからなることを特徴とする。

【0013】また、請求項4記載の発明では、請求項1、2または3記載の波長多重ネットワークにおいて、前記波長ルーチング光ファイバ網は、1つまたは複数の光スターカップラと、受信ノードとの接続部と前記光スターカップラとの間に設置され、所定の波長の信号光のみを透過する光波長分離手段と、送信ノードとの接続部と前記光スターカップラ、および前記光スターカップラと前記光波長分離手段とを接続する複数の光ファイバとを具備することを特徴とする。また、請求項5記載の発明では、請求項1、2または3記載の波長多重ネットワークにおいて、前記波長ルーチング光ファイバ網は、1つ、または動作波長域の異なる複数の光マルチプレクサと、送受信ノードとの接続部と前記光マルチプレクサとを接続する光ファイバとを具備することを特徴とする。

【0014】また、請求項6記載の発明では、請求項1、2、3、4または5記載の波長多重ネットワークにおいて、前記送信ノードと受信ノードとの間に、前記波長ルーチング光ファイバ網が複数個接続され、前記送信ノードの各レーザ光源と、前記受信ノードの各スイッチ手段の入力端子とが、それぞれ前記複数の波長ルーチング光ファイバ網のいずれかに接続されることを特徴とする。また、請求項7記載の発明では、請求項5記載の波長多重ネットワークにおいて、前記光マルチプレクサの1つの入力端子に前記レーザ光源の2つ以上が接続されることを特徴とする。

【0015】また、請求項8記載の発明では、請求項1、2、3、4、5、6または7記載の波長多重ネットワークにおいて、前記波長ルーチング光ファイバ網は、2回線以上の光ファイバ線路を有する重畳構成を有し、送信ノードは、前記重畳構成の光ファイバ線路の中の1つを選択して光信号を送出する送出手段を有し、受信ノードは、前記重畳構成の光ファイバ線路からの入力光信号を合波する合波手段を有することを特徴とする。

【0016】

【作用】 請求項1記載の発明によれば、送信ノードにおける複数の入力ポートに供給される信号は、第1のスイ

ッチ手段により、レーザ光源のいずれかに選択的に供給される。レーザ光源は、それ自体固有の波長の光信号を波長ルーチング光ファイバ網へ出力する。一方、受信ノードでは、第2のスイッチ手段により、上記波長ルーチング光ファイバ網から供給される信号を選択的に出力ポートのいずれかに導く。

【0017】次に、請求項2記載の発明によれば、請求項1記載の波長多重ネットワークにおける送信ノードが有するレーザ光源を、入出力ポート間の接続要求に応じて発振波長が可変の発振波長可変レーザとしている。また、請求項3記載の発明によれば、請求項1記載の波長多重ネットワークにおける送信ノードが有するレーザ光源を、入力された光信号の波長を指定の波長の光信号に変換して出力する光波長変換デバイスとし、第1のスイッチ手段を、複数の入力ポートと光波長変換デバイスとを選択的に接続する光空間スイッチで構成している。そして、受信ノードが有する第2のスイッチ手段を、受信ノードに入力される光信号の波長を指定の波長の光に変換して出力する光波長変換デバイスと、光波長変換デバイスが出力する光信号を選択的に出力ポートに導く光空間スイッチとから構成している。

【0018】次に、請求項4記載の発明によれば、請求項1、2または3記載の波長多重ネットワークにおいて、波長ルーチング光ファイバ網は、送信ノードから供給される信号を、光スターカップラによりその出力端へ光ファイバを介して各光波長分離手段へ分配する。光波長分離手段は、所定の波長の信号光のみを透過させることにより、特定の信号のみを所定の受信ノードへ出力する。また、請求項5記載の発明によれば、請求項1、2または3記載の波長多重ネットワークにおいて、波長ルーチング光ファイバ網は、受信ノードから供給される信号を、複数の光マルチプレクサにより所定の出力端へ出力する。出力端へ出力された信号は、光ファイバを介して受信ノードへ出力される。

【0019】また、請求項6記載の発明によれば、請求項1、2、3、4または5記載の波長多重ネットワークにおいて、送信ノードから出力された信号は、複数個接続された波長ルーチング光ファイバ網のいずれかに接続されることにより、所定の受信ノードへ出力される。また、請求項7記載の発明によれば、請求項5記載の波長多重ネットワークにおいて、光マルチプレクサの1つの入力端子に2つ以上のレーザ光源が接続される。

【0020】また、請求項8記載の発明によれば、請求項1、2、3、4、5、6または7記載の波長多重ネットワークにおいて、送信ノードは、送出手段により、2回線以上の光ファイバ線路を有する重畳構成を有する波長ルーチング光ファイバ網の光ファイバ線路の中の1つを選択して光信号を送出する。一方、受信ノードは、合波手段により、重畳構成の光ファイバ線路からの入力光信号を合波する。

【0021】

【実施例】次に図面を参照してこの発明の実施例について説明する。図1は本発明の第1の実施例の構成を示すブロック図である。図において、400~408はネットワークへの入力ポートに相当し、一般には時分割多重された信号が入力されるが、以下では空間的に1本のリンクと考える。410~412は入力ポートと波長可変レーザを接続するためのスイッチ回路である。420、423、426と421、424、427と422、425、428は、それぞれ動作波長範囲は同じであるが、それらに接続される点線で示す波長ルーチング手段が異なっている波長可変レーザである。また、430~432は波長可変レーザ422、425、428が出力する光信号が収容される光ファイバであり、440はそれに入力される光信号をその出力に均等に分配する手段としてのスターカップラである。450~452は波長多重された信号が出力されるスターカップラ440の出力ファイバであり、460~462は波長多重された信号の中から1つの波長を固定的に選択するフィルタである。また、470~472はフィルタ460~462で選択された単一波長の光信号に対応する出力信号であり、480~482は各々、フィルタ460~462の出力と、ネットワークの出力ポート490~498を接続するスイッチ回路である。

【0022】この図において、第1の実施例では、例えば、波長可変レーザ422、425、428と、スターカップラ440と、フィルタ480~482とは、原理的に図16に示す従来の波長多重ネットワークと同等であるが、スターカップラとフィルタとによる分配手段が複数面設置されていることと、その入出力ポートをスイッチ回路によって接続するようにしたことを特徴としている。

【0023】さて、波長可変レーザ422、425、428とスターカップラ440とフィルタ460~462とは、論理的に3×3の空間スイッチを構成しているとみなすことができる。よって、図1に示す波長多重ネットワークは、既知の3段スイッチ回路と等価である。3段スイッチ回路は、任意の入出力ポート間の接続が可能であるから、図1に示す波長多重ネットワークは従来の図16に示す構成と同様に任意の入出力ポート間の接続が可能である。図16と図1の構成を比較すると、レーザ光源とフィルタの個数は同じであるが、図1においては、その動作波長範囲は図1に比べ1/3でよい。一方、図1では、図16では必要としない3×3のスイッチ回路が入出力ポート部に6個必要となる。これらのスイッチ回路は入出力リンク数が小さいことや、入出力信号が電気信号の場合は電気回路(LSI)で実現できるため、小型、低コストで実現可能である。一方、従来の構成では、動作波長範囲の広い波長可変レーザが必要であり、これは製造が困難であるから、総合的に考えれ

9

ば、図1に示す波長多重ネットワークの構成の方が容易に実現可能と言える。

【0024】次に、本発明の第2の実施例を図2に示す。500～507は波長多重ネットワークへの入力ポート、510～511は入力ポートと波長可変レーザを接続するためのスイッチ回路、520、521、524、525と522、523、526、527は、それぞれ動作波長範囲は同じであるが、それらに接続される波長ルーチング手段が異なる波長可変レーザである。次に、530、531、533、534は波長可変レーザ522、523、526、527が出力する光信号が収容される光ファイバであり、540はそれらに出力される光信号をその出力に均等に分配する手段としてのスターカップラである。550～551は波長多重された信号が出力されるスターカップラの出力ファイバであり、560～563は波長多重された信号の中から1つの波長を固定的に選択するフィルタである。また、570～573はフィルタ560～563で選択された単一波長の光信号に対応する出力信号（電気信号）であり、580～581はフィルタの出力と出力ポート590～597を接続するスイッチ回路である。

【0025】この図において、第2の実施例では、例えば、波長可変レーザ522、523、526、527とスターカップラ540とフィルタ560～563は、原理的に、図16の従来の波長多重ネットワークと同等であるが、図1と同じくそれが複数面設置されていることと、その入出力がスイッチ回路によって入出力ポートに接続されていることを特徴としている。図2は原理的に図1と同じであり、従来の波長多重ネットワークと比較して上記の特徴を有している。ただし、図1に示す第1の実施例と異なるのは、入力部からの出力ファイバ532、535の各々に2つの波長可変レーザが接続されている点であり、この構造に起因して、波長ルーチング網の面数が少なくてもよいという特徴がある。すなわち、入出力部とスターカップラを接続する光ファイバ数が少なくよい。ただし、1つの波長ルーチング面の入出力ポート数が多くなっているため、波長間隔が同一とすると、レーザの動作波長範囲は大きくなる。すなわち、図1と図2に示す波長多重ネットワークの構成において、レーザの動作波長範囲と入出力部に接続されるファイバ数の間にはトレードオフの関係がある。

【0026】図1と図2に示す波長多重ネットワークでは、波長ルーチング網をスター状に構成し、その中心にスターカップラ440もしくは540を配置した構成であるが、波長ルーチング網をメッシュ状に構成することも可能である。このような原理で構成した本発明の第3の実施例を図3に示す。図3において、600～607はネットワークへの入力ポートであり、610、611は入力ポートと波長可変レーザを接続するためのスイッチ回路である。次に、620、621、624、625

10

と622、623、626、627は、それぞれ動作波長範囲は同じであるが、それらに接続される波長ルーチング網が異なっている波長可変レーザである。また、630～634はスターカップラ、640～643はスターカップラ630～634をメッシュ状に接続する光ファイバ、650～653は波長多重された信号の中から1つの波長を固定的に選択するフィルタである。そして、660、661はフィルタの出力と出力ポート670～677を接続するスイッチ回路である。

【0027】図3に示す構成は、点線で示す波長ルーチング網の構成が図2と異なっているが、機能的には図2と同等である。すなわち、図3に示す波長多重ネットワークでは、図2に示した、スター状のネットワークの中心に設置されていた大規模なスターカップラ540に代えて、小規模なスターカップラ630～634を入出力部に分散配置することで、同等の機能を実現している。図3に示す波長ルーチング網は、メッシュ状のネットワークとなるため、図2に示す構成より光ファイバの本数が増大するが、ネットワーク全体がモジュール化、分散化された構成になるという特徴がある。この構成では、図2と同様に、送受信ノードを接続する光ファイバ数と波長可変レーザの波長可変範囲との間にトレードオフの関係が存在する。

【0028】図1ないし図3に示す第1ないし第3の実施例は、動作波長範囲の同じレーザを空間的に分離して（すなわち、光信号を収容する光ファイバを分けて）構成する例であった。これに対して、それらの相対的な動作波長範囲は同じであるが、波長軸上の絶対位置が異なるレーザを用いる本発明の第4の実施例の構成を図4(a)に示す。図4(a)において、700～707はネットワークへの入力ポート、710～711は入力ポートと波長可変レーザを接続するためのスイッチ回路である。次に、720、721、724、725と722、723、726、727は、それぞれ波長可変幅は同じであるが、動作波長域が異なる波長可変レーザ、730～737は光ファイバ、740～743はスターカップラ、750～753はスターカップラ740～743をメッシュ状に接続する光ファイバ、760～767は波長多重された信号の中から1つの波長を固定的に選択するフィルタ、770～771は、各々、フィルタ760～767の出力と出力ポート780～787を接続するスイッチ回路である。図4(b)は、レーザの動作波長域を示す図であり、範囲790は波長可変レーザ720、721、724、725の動作波長域、範囲791は波長可変レーザ722、723、726、727の動作波長域である。図4(a)に示す波長多重ネットワークは図3に示す構成と等価な構成であり、図3の点線で示される2つの空間的に分離されたネットワークを波長多重により、1つのネットワークで実現した点が特徴である。この結果、図1～図3に示す構成と比較して、

必要とされる光ファイバ数が少ないという特徴がある。図3に示す波長多重ネットワークでは、光ファイバ数を少なくしようとすると、レーザの波長可変範囲が大きくなるが、図4(a)に示す構成では、波長可変範囲は増大しないという利点がある。ただし、動作波長域の異なる波長可変レーザが必要となるが、レーザの発振波長域は、その動作温度や組成やグレーディングのピッチを変えることなどにより、容易に設定できる。一方、図4(a)に示す構成では、図1～図3に比べ、光信号の分岐数が多くなるため、受信光信号レベルが小さくなる。

【0029】以上の実施例においては、複数面ある波長ルーチング網の内部構成は、1つのネットワークの中では同一であったが、一般には異なる構成のものが適用可能である。このような原理に基づく本発明の第5の実施例を図5に示す。図5は図1に示す構成に対して上記原理を適用した例であり、図1では3面あった波長ルーチング網の2つを図2に示す1つの波長ルーチング網で置き換えた構成である。すなわち、800が図2に示す波長ルーチング網（光ファイバ530～534、カップラ540、フィルタ560～563）に相当する部分であり、801が図1に示す波長ルーチング網（光ファイバ430～432、450～452、カップラ440、フィルタ460～462）に相当する部分である。図示していないが、上記波長ルーチング網800を図3に示す波長ルーチング網（カップラ630～634、光ファイバ640～643、フィルタ650～653）で置き換えてもよい。

【0030】以上、図1～図5に示す本発明の第1ないし第5の実施例は、従来の図16と比較して、レーザおよびフィルタの個数を増大させることなく、レーザの波長可変幅を低減できることや、分配数が小さくなることに起因して、受信光信号レベルが大きくなるため、レーザの発光レベルが小さくてよいことと、受信回路が簡単になるという利点が得られる。

【0031】次に、図17に示す従来の構成に対して本発明を適用することにより、図1～図5に対応する他の実施例が得られる。図6は図1に対応する本発明の第6の実施例の構成を示すブロック図である。なお、図において、図1の構成要素に対応する部分には同一の符号を付けて説明を省略する。900は図17に示す光マルチプレクサ230に対応する光マルチプレクサ、901～903は光マルチプレクサ900の入力光ファイバ、904～906は光マルチプレクサ900の出力光ファイバ、907～908は図1の点線部分に対応する波長ルーチング網である。すなわち、図6に示す第6の実施例は、図1の点線内部の構成を変えたものと考えることができる。光マルチプレクサ900の動作は図17に示されるように、入力される光信号の波長に応じて、ルーチングされる出力ポートが決まる3×3の空間スイッチに等価であり、論理的には図1に示す点線内部と同等であ

る。図1に示す点線内部と異なるのは、光信号が複数の出力ポートに分配されることなく、1:1にルーチングされることにある。よって、この構成では、図1～図5に示した本発明の第1～第5の実施例に比べ、さらに、光信号の分配に基づく光レベルの低下がないという利点がある。波長可変レーザの波長可変範囲は図1～図5に示す構成と同等であり、図16の従来の構成より、波長可変範囲が小さくてよいという利点がある。また、従来の図17の構成の欠点であったノンブロック性を有しているため、任意の入出力ポートの接続が可能であり、偏ったトラヒック需要に容易に対応可能である。

【0032】図7は図2に対応する本発明の第7の実施例の構成を示すブロック図である。なお、図において、前述した実施例の構成要素に対応する部分には同一の符号を付けて説明を省略する。この第7の実施例では、波長ルーチング網1000が図6に示す第6の実施例と異なっている部分であり、1001～1003が波長多重された光信号を分離する波長分離回路、1004～1009が波長分離回路1001～1003で分離された単一波長の光信号出力である。1010～1015は、図2に示す波長可変レーザ522、523、526、527と同じく、波長可変レーザ420～428に対して2倍の波長可変範囲を有する波長可変レーザである。波長分離回路1001～1003は、図2に示すフィルタ560～563のように単一の波長の光信号のみを選択する個別のフィルタの組合せで構成することもできるが、本第7の実施例では、従来よりよく知られたマッハツェンダー型のフィルタなどのような波長分離フィルタで構成されるものとする。この構成は、図2に示す構成と同様に、レーザの波長可変範囲は2倍となるが、波長多重効果により、入出力部を結ぶ光ファイバ本数および波長ルーチング網の面数を低減できるという利点がある。また、図2に示す従来の波長多重ネットワークの構成の欠点であったノンブロック性を有しているため、任意の入出力ポートの接続が可能であり、偏ったトラヒック需要に容易に対応できるという利点が得られる。

【0033】図6と図7に示す第6および第7の実施例は、図1と図2に示す第1および第2の実施例と同じくスター状の網構成である。一方、図6と図7に示す構成に対して、図3と図4(a)に示すように、メッシュ状のネットワーク構成とする構成原理が考えられる。

【0034】図8はメッシュ状のネットワーク構成とした第8の実施例の構成を示すブロック図である。なお、図において、前述した第1ないし第7の実施例の構成要素に対応する部分には同一の符号を付けて説明を省略する。図8は、図6に示す構成における波長ルーチング網907～909の部分を分散配置し、それらの間を光ファイバでメッシュ状に接続した構成を示している。1100～1102は光マルチプレクサ900と同じ3×3の光マルチプレクサであり、1103～1111はメッ



シュ状に接続される光ファイバである。また、1112～1114は3本の光ファイバより入力される光信号を1本の光ファイバに結合する光カップラ、1115～1117は波長多重された光信号を分離する波長分離手段であり、光マルチプレクサ1100～1102と同じ光マルチプレクサが適用できる。これは、3入力の中の1本の入力のみを使用することにより、波長分離回路として動作することは、図18(a)～(c)に示す動作原理より明らかである。

【0035】図8において、入出力ポート400～498の部分の構成および動作については既に説明したので、光マルチプレクサ1100～1102、光カップラ1112～1114、波長分離回路1115～1117の動作を中心に説明する。なお、光マルチプレクサ1100～1102の動作原理については図18(a)～(c)に示す通りである。一例として、3つの可変波長レーザ420、423、426に注目する。これらの可変波長レーザ420、423、426は、いずれも光マルチプレクサ1100～1102の一番上の入力ポートに接続されているので、同じ波長ルーチング動作をする。すなわち、可変波長レーザ420、423、426が波長λ1に設定されると、それらの光出力は光ファイバ1103、1106、1109を通り、いずれも光カップラ1112にルーチングされる。

【0036】図18の動作原理により、光ファイバ1103、1106、1109に波長λ1の光信号がルーチングされるのは、この場合以外には有り得ないことがわかる。すなわち、可変波長レーザ420、423、426は波長λ1を介して出力ポート490～492に接続可能である。同様に、可変波長レーザ420、423、426は、波長λ2を介して出力ポート493～495に接続可能であり、波長λ3を介して出力ポート496～498に接続可能である。この動作は図6に示す波長ルーチング網907による接続機能と同等であることが分る。すなわち、出力光ファイバ904が波長λ1に対応し、出力光ファイバ905が波長λ2に対応し、出力光ファイバ906が波長λ3に対応する。波長ルーチング網907に接続されるレーザ光源は、可変波長レーザ422、425、428であるが、波長ルーチング網907、908、909は同じ構造であることに留意されたい。この第8の実施例は、図3に示す第3の実施例と同様にネットワークがモジュール化され、分散された構成となる利点がある。また、この第8の実施例は、光信号の分配がない点が図3に示す第3の実施例とは異なり、図6と図7に示す第6および第7の実施例と同様に、分配に起因する受信部の光レベルの低下がないため、レーザ出力レベルが小さくてよいことや、受信回路が簡易となるという利点がある。また、従来の図17の構成の欠点であったノンブロック性を有しているため、任意の入出力ポートの接続が可能であり、偏ったトラヒ

ック需要にも容易に対応できるという利点が得られる。

【0037】図5に示す第5の実施例と同様に、図6～図8に示す構成において、波長ルーチング網の内部構成が同一でない構成も考えられる。これについては、図5と同じ原理であり、図6～図8に示す点線部分(波長ルーチング網)を任意に組合せることにより実現できる。図6～図8の点線部分については既に実施例に示されており、その構成は明らかであるため説明を省略する。

【0038】次に、図8に示す送信部1120において、入力ポート数が多い場合の変形例を図9に示す。ここで、e1は入力ポート400～402に対応し、送信ノードの入力ポートであり、410aはスイッチ回路410に対応するスイッチ回路、420a～422aは波長可変レーザ420～422と同一の波長可変レーザである。次に、1100aは光マルチプレクサ1100と同じ光マルチプレクサであり、420b～422bも波長可変レーザ420～422と同一の波長可変レーザである。また、1100bは光マルチプレクサ1100と同じ光マルチプレクサであり、d1～d3はそれぞれ同一の受信ノードに向う2対の光ファイバである。波長可変レーザ420a～422a、420b～422bおよび光マルチプレクサ1100a、1100bの構成および動作は波長可変レーザ420～422、光マルチプレクサ1100と全く同一である。このように、この変形例によれば、レーザ光源と、光マルチプレクサと、光ファイバとを並列設置することにより、光ファイバ数が増大するものの、入力ポート数を増加させることができるという利点が得られる。

【0039】また、図8に示す第8の実施例では、例えば、入力ポート400～402、あるいは出力ポート490～492を収容する部分が1つのノードに対応していると考えると、1つのノードに収容される入出力ポート数とネットワークの中に含まれるノード数は同一となる性質がある。しかし、ネットワークの適用範囲を広げるために、1つのノードに収容される入出力ポート数とネットワークの中に含まれるノード数は独立に設定することが望ましい。ノード数に比べ1つのノードに収容される入出力ポート数が少ない場合には、図6～図8に示す構成において、単に不必要な入出力ポートを使用しなければよい。同様に、ノード数に比べ1つのノードに収容される入出力ポート数の方が多い場合には、多ポートの光マルチプレクサを用意し、出力ポートの一部を未使用とする方法が考えられ、その場合の構成原理は図6～図8に示す構成原理と同等である。しかし、この方法はノード数と1つのノードに収容される入出力ポート数との差が大きくなるほど、未使用のポートが増加することになるため、効率が悪くなる。そこで、図8に示す構成を基本とし、未使用のポートが増大しないという利点を有する第9の実施例の構成を図10に示す。

【0040】図10に示す第9の実施例の構成は、図7

に示す構成原理と同様に、1本の光ファイバを波長多重により共用するという原理に基づいている。図10では、送信側の構成、例えば、図8に示す波長可変レーザ420~422と光マルチプレクサ1100に対応する構成を示している。図において、1200~1207はスイッチ回路の出力光ファイバであり、1220~1221は動作波長域が異なる光マルチプレクサである。次に、1208~1215は波長可変レーザであり、波長可変レーザ1208~1211と波長可変レーザ1212~1215とは動作波長域が異なる。この第9の実施例では、光マルチプレクサ1220および1221の一方の出力が光ファイバ1222および1224を介して出力光ファイバ1226へ結合され、光マルチプレクサ1220および1221の他方の出力が光ファイバ1223および1225を介して出力光ファイバ1227へ結合されている。これは、図9に示す波長可変レーザ420a~422aと光マルチプレクサ1100aと、波長可変レーザ420b~422bと光マルチプレクサ1100bとの動作波長域が異なるものと仮定し、波長多重する技術を用いて構成したものであり、光ファイバ数を減らすことができるという特徴がある。波長の割当て方法としては、2つの代表的な例が考えられ、その1つは、光マルチプレクサ1220の動作波長域と、光マルチプレクサ1221の動作波長域とをそれぞれ異なる波長域に集中させる集中配置であり、他の1つは、光マルチプレクサ1220の動作波長と、光マルチプレクサ1221の動作波長とが交互に配列するように、各々の波長域を分散させる分散配置である。また、図10には、光マルチプレクサ1220、1221の各々の入力ポートの1つには2つの波長可変レーザが接続される例を示しているが、一般的にはそれらの個数は任意である。図10に示す構成に限定すれば、波長可変レーザ1208~1211と波長可変レーザ1212~1215とは、どちらもその後接続される光マルチプレクサ1220、1221の自由スペクトルレンジ (Free Spectral Range, FSR) 以上の動作波長域を有する。ここでは、一例として2倍と仮定する。

【0041】 上述した光マルチプレクサ1220および1221は、動作波長範囲が異なるので、独立な要素と考えてよい。最初、1つの光マルチプレクサ1220の動作について説明する。光マルチプレクサ1220の1つの入力ポートに接続される波長可変レーザが1つであれば、その動作は図6~図8の実施例に示す通りである。図10では、光マルチプレクサ1220の1つの入力ポートに接続される波長可変レーザは2つであるため、その動作は各波長可変レーザの重ね合わせにより得られる。図10において、各波長可変レーザは光マルチプレクサ1220のFSRの2倍としているので、光マルチプレクサ1220のルーチング動作は次のようになる。

【0042】 例えば、光マルチプレクサ1220のいずれかの入力ポートに接続されている2つの波長可変レーザの一方の発振波長を波長 $\lambda_k$ とした場合、波長 $\lambda_k$ が光マルチプレクサ1220の出力ポートjにルーチングされるとすると、他方のレーザの発振波長を波長 $\lambda_k + FSR$ 、または波長 $\lambda_k - FSR$ に設定した場合、光マルチプレクサ1220の動作特性の波長軸上の周期性より、波長 $\lambda_k + FSR$ 、または波長 $\lambda_k - FSR$ の光出力も、光マルチプレクサ1220の出力ポートjにルーチングされる。ただし、波長 $\lambda_k$ と、波長 $\lambda_k + FSR$ または波長 $\lambda_k - FSR$ は波長が異なっているため、受信側にフィルタを設置することなどにより分離できる。すなわち、図10に示す第9の実施例は、小規模の光マルチプレクサを波長多重使用することにより、等価的に大規模の光マルチプレクサとして適用する一例を示している。同様に、2つの光マルチプレクサ1220、1221は、例えば、1.3 $\mu m$ 帯と1.5 $\mu m$ 帯というように、動作波長範囲が異なっているため、図10に示すように1本のファイバに波長多重可能であり、受信側において、それらの波長多重された信号をフィルタで分離することが可能である。

【0043】 ところで、上述したように、光マルチプレクサ1220、1221の各々の入力ポートの1つには2つの波長可変レーザが接続されるようになっている。ここで、説明を簡単にするために、波長可変レーザ1208~1211と光マルチプレクサ1220の上半分に注目すると、光マルチプレクサ1220の大きさは変わらないが、入力ポートを増加することができる。その動作は、上述したように、光マルチプレクサ1220の入力ポートに供給される光の波長を $\lambda$ 、および $\lambda \pm FSR$ とすると、それらの光は全て同一の出力ポートにルーチングされるが、波長が異なっているため、受信ノードに挿入されたフィルタによって分離できるためである。このように、図10に示す第9の実施例によれば、多数の入力ポートを有するノードが効率よく実現できるという利点を得られる。

【0044】 以上述べたように、光マルチプレクサを送信ノードに適用することにより、光信号の分配に起因する光信号レベルの低下がないこと、ネットワークが分散構成となり構造が簡易化でき、増設が容易になること、ノードの構成がモジュール化されること、ノード数と1つのノードの入出力ポート数が任意に設定できること、任意の入出力ポートの接続が可能であり、偏ったトラヒック需要に容易に対応可能であることなどの利点を得られる。

【0045】 図3、図4および図8に示すように、送信ノードと受信ノードをメッシュ状に接続するネットワークは、論理的な構成を示しており、実際のネットワークに適用される場合は、ノードの地理的な配置や、伝送路ルートの制限などから多様な形状をとることが可能であ

る。ここで、図3、図4および図8に示す第3、第4および第8の実施例を、図11(a)に示すモデルで共通的に記述する。図において、1300~1303の各々は、例えば、図8に点線で示した送信ノード1120に相当し、1310~1313の各々は、例えば、図8に点線で示した受信ノード1121に相当する。次に、1320~1323は各送信ノードに収容される入力ポートであり、1324は送信ノード1300~1303と受信ノード1310~1313とを接続する光ファイバ群である。また、1325~1328は、各受信ノードに収容される出力ポートを示す。

【0046】次に、図11(a)のネットワークを実際のネットワークとして適用する場合の構成例を図11(b)に示す。ここで、入出力ポートと送受信ノードはそれぞれ1つのリンクおよびノードに簡略化して示す。図11(b)では3つの局がループ状に接続されたネットワークを構成している。送受信ノードを接続する、図11(a)に示す光ファイバ1324は、光ファイバケーブル1330~1332にまとめて収容され、送受信ノードは各局の容量に対応して必要な個数が設置される。局間を接続する光ファイバケーブルの一部は、各局のノードに接続され、その他のファイバはその局を通過する。その接続パターンより、図11(b)はループ状のネットワークとなるが、図11(a)のメッシュ状のネットワークに等価であることがわかる。この構成の特徴は、各局間のトラヒック需要変動に柔軟に対応できることである。すなわち、このネットワークは、物理的には、各局ごとにトラヒック需要に対応する個数の送受信ノードを設置し、それらの間を光ファイバでメッシュ状に接続することにより実現される。送受信ノードの増設および削減は、該当局で送受信ノードを追加あるいは削減し、新たにファイバを接続あるいは切断することにより、既存のサービス中のシステムに影響を及ぼさず容易に実現できる。このように、ネットワークの物理的構造が与えられると、ある1つの局と他の任意の局との間には、波長可変レーザの発振波長の設定により、必要なトラヒック量に対応する数の波長チャネルが容易に設定可能である。同様に、一旦、設定された波長チャネルの接続先の変更や削除も、波長可変レーザの発振波長の再設定により容易に実現可能である。図11(b)のループ状の構成において、各局の構成は、そこに含まれる送受信ノードの個数を除いて同等であり、各局間の光ファイバケーブルの本数が同一となり、全体として対称的な構造となることや、各局間を接続するルートが2つ以上存在するため、光ファイバケーブルの心線数が増大するものの、故障時の迂回ルーチングが実現しやすいことなどの長所がある。

【0047】図12(a)は図11(a)のネットワークを物理的にスター状の構成とした第11の実施例の構成を示すブロック図である。局の配置およびノードの配

置は図11(b)と同様である。1400は光ファイバの接続を集中的に実現するクロスコネクタノードであり、1401~1403は光ファイバケーブルである。クロスコネクタノード1400における光ファイバの接続は、各局においてノードの新設、削除が発生した場合に、新たなファイバの接続、削除が必要となるが、それ以外では固定的である。この構成はファイバの接続が1箇所で集中的に実現でき、光ファイバケーブルの心線数が少ないという特徴がある。図12(b)は、図11(b)、図12(a)と同じ局の配置およびノードの配置のネットワークを直線状に配置した変形例であり、1404~1405が光ファイバケーブルに相当する。この構成は、図11(b)に示すループ状のネットワークを、ある点で切断し、ファイバの経路が一方向にのみ許容される条件で導かれる。光ファイバケーブルの心線数は、図11(b)より少ないが、その本数は同一でない。また、図11(b)と同様にファイバの接続は各局に分散して実現され、図12(a)の光ファイバの接続を集中的に実現するファイバクロスコネクタノード1400が必要ないという特徴がある。これらの第11の実施例およびその変形例は、図11(a)に示すネットワークを物理的なトポロジーを考慮して実現する場合の基本的な構成をとっている。実際のネットワークは、これらの基本的な構成を、さらにいくつか組合せた構成で実現することも可能である。

【0048】図13(a)に、図11(b)のループ状のネットワークと図12(b)の直線状のネットワークとを組合せた第12の実施例の構成のブロック図を示す。1500~1505は、それぞれいくつかの送受信ノードを含む局であり、1506~1511はこれらの局間を結ぶ光ファイバケーブルである。図13(a)では、3つのノード1503~1505は、図11(b)に示すようにループ状に接続されており、3つのノード1500~1502については対称的なため、例えば、ノード1500を例にとると、1500-1503-1504-1501と1500-1503-1505-1502とは、図12(b)のように直線状に接続されている。各光ファイバケーブルの本数については、説明を簡単にするため示していないが、必要となる心線数は図11(a)、(b)~図12(a)、(b)に示した実施例より容易に求められる。この第12の実施例のように、図11(a)、(b)~図12(a)、(b)に示す基本的な構成の組合せにより、局配置を考慮した最適なネットワーク形状とすることが可能である。図11(b)~図12(a)、(b)および図15(a)は、全ての送受信ノードをメッシュ状に接続する図11(a)の構成に等価であり、その接続に必要なファイバ本数はノード数の2乗に比例して増大する性質がある。このため、完全メッシュ状に接続可能なノード数にはケーブルの収容本数やコストなどの制限から上限がある。

19

図11(b)～図13(a)に示す構成でカバーできるネットワークより大規模なネットワークを構成する方法として、従来より、よく知られている階層化する方法を適用した変形例を図15(b)に示す。図において、1520～1528は、それぞれいくつかの送受信ノードを含む局であり、1530～1541はこれらの局間を結ぶ光ファイバケーブルである。送受信ノード1520～1522、送受信ノード1523～1525、送受信ノード1526～1528は、図11(b)に示したループ状のネットワークであり、それぞれ全体のネットワークの一部分をカバーしている。送受信ノード1522、1525、1528は上記の部分ネットワークに属するノード1を含む局であると同時に、それらの部分ネットワークを結合する、もう1つのループ網を構成するノード2を含む局である。ノード1とノード2とは、同一のシステムに収容され、入出力ポートが異なるように実現できる。あるいは、別個のシステムとして実現し、それらを従来のデジタルクロスコネクトシステムやデジタル交換機などを介して接続する構成も可能である。図13(b)にはループ状のネットワークを階層化した構成例を示したが、スター状(図12(a))、直線状(図12(b))のネットワークの組合せによる構成も可能である。以上のように、本発明の構成は装置内や局内に限らず、広域的なネットワークとしても適用可能であり、広範な適用領域を有するという利点がある。

【0049】以上、図1～図13(a)、(b)に示す第1ないし第13の実施例の説明では、入出力ポートは電気信号と仮定し、送受信ノードに配置されるスイッチ回路は電気回路、送信ノードに配置されるレーザは電気信号により発振波長が可変のDFBレーザやDBRレーザなどを想定している。一般的に、入出力ポートの信号が光の場合であっても、本発明の構成はそのまま適用可能である。例えば、入出力信号を波長多重伝送される光信号と仮定し、ある入力ポートのある波長が、ある出力ポートのある波長に変換されて出力される光ネットワークを考える。従来の図16に示す構成を基本とした光ネットワークは次のように容易に導かれる。図16に示す入力ポート100、101、102は1つの入力ポートに多重化された3つの波長が波長多重分離された入力(光信号)と仮定する。波長可変レーザ110、111、112は入力される光信号の波長を出力先のフィルタに対応する波長に変換する波長変換素子とする。波長変換素子の出力光は波長ルーチングにより、該当フィルタ(受信回路)190～198で選択され、出力ポート1a0～1a8に出力される。これらの出力ポートは入力ポートと同様に、例えば、1a0～1a2が1つの出力ファイバに波長多重されるものと仮定する。1a0～1a8の後に波長変換素子を設置し、そこで入力波長を該当の出力波長に変換して、波長多重して出力側の光ファイバに送出することにより、光ネットワークが構成で

20

きる。以上に示した光ネットワークの構成条件における、図2～図15に対応する実施例が容易に得られる。

【0050】一例として、図8に示すネットワークに対応する光ネットワークの第13の実施例の構成を図14に示す。1600～1602は3つの波長が多重された入力光ファイバ、1611～1613は波長多重分離回路、1614～1616は波長多重分離された単一波長の光信号、1620～1622は、例えば、LiNbO<sub>3</sub>スイッチ回路で構成される光空間スイッチ、1630～1638は入力された光信号の波長を指定の波長の光に変換して出力する波長変換デバイス(波長変換レーザ)、1640～1643は光マルチプレクサ、1644はメッシュ状に接続された光ファイバ、1650～1652は複数のファイバ入力から入力される異なる波長の光信号をカップリングする合波器、1653～1665は単一の波長に分離された光信号、1670～1672は、例えば、LiNbO<sub>3</sub>スイッチ回路で構成される光空間スイッチ、1680～1688は入力された光信号の波長を指定の波長の光に変換して出力する波長変換デバイス、1690～1692は波長変換デバイスから出力される光信号を波長多重する波長多重回路、1693～1695は波長多重された光信号が出力される光ファイバである。

【0051】この第13の実施例では、前述した図16に示す構成を基本とした光ネットワークの構成原理と同様に、波長多重された入力ファイバの信号が波長多重分離されて単一波長の光信号入力となる点、波長可変レーザが波長可変の波長変換レーザ1630～1638で置き換えられる点、および、出力ポートに出力される光信号の波長を出力ファイバ上での該当の波長に変換するための波長変換レーザ1680～1688が付加される点が図11の第10の実施例と異なるが、波長ルーチング機能を実現する部分の構成は図11と同等である。なお、光空間スイッチとしては、LiNbO<sub>3</sub>スイッチ以外にも多数の構成法が知られており、それらで実現することも可能である。図14において、例えば、入力光ファイバ1600から入力される波長多重された光信号は波長多重分離回路1611で分離され、単一波長の光信号1614として出力される。これらの光信号1614は、光空間スイッチ1620によって、接続先の受信ノードにルーチング可能な該当の波長変換レーザ1630～1632のいずれかに接続される。波長変換レーザ1630～1632は、入力された光(波長を $\lambda_1$ とする)を宛先の受信ノードにルーチングするために指定の波長 $\lambda_0$ に変換する。波長変換レーザ1630～1632は波長の変換を行なうが、その波長の光信号に重畳されているデータ信号には何の処理も行なわない。この結果、入力された光信号は光マルチプレクサ1640で波長ルーチングされ、該当の受信ノード(例えば、出力ポート1694に対応する受信ノードを仮定する)に送出

21

される。λ<sub>0</sub>は受信ノードの合波器1651で、他の送信ノードより送出されてきた光信号と合波され、波長多重分離回路1661で多重分離され、光信号1664として1本のリンクに出力される。この分離された光信号1664は、光空間スイッチ1671で該当の出力波長を送出する波長変換レーザ（1683～1685の1つ）に接続され、その出力は波長多重回路1691で合波されて光ファイバ1694に送出される。

【0052】波長変換レーザ1683～1685の出力は、それぞれのレーザ固定の波長となるが、入力される光信号の波長が接続状況によって異なるため、波長可変の波長変換レーザが必要である。以上のように、入出力信号が光であっても、基本的なルーチング動作は図8に示す第8の実施例と同様である。この第13の実施例は、入出力信号が光になった場合の構成の一例であるが、入力信号が光、出力信号が電気などの組合せも可能である。以上のように、本発明はオール光ネットワークにも適用可能であり、波長変換デバイスの動作波長範囲を小さくできること、光信号の分配数が低減できること、分散化されたネットワーク構造となり、構成が簡単でノードの増設が容易であることなどの利点がある。また、その適用範囲も装置内や、局内のインタコネクションのみならず、広域的なネットワークとしても適用可能という利点がある。

【0053】図3、図4(a)、図8などに示した実施例のメッシュ状のネットワークにおいては、一対の送受信ノード間に1本のファイバが設置され、必要な数の波長が多重伝送される。そのファイバが故障すると、故障修理が完了するまで、その送受信ノード間の通信が不可能となる可能性がある。本発明の請求項6記載の発明は、この欠点を解消する方法に関するものである。従来の光ファイバ伝送システムでは、上述したような光ファイバ伝送路の故障に対しては、送受信ノード間に現用のシステムに対して予備のシステムを設置するとともに、送受信ノードの両方に切り替え用のスイッチを設置し、現用システムが故障の場合、送受信ノードの切り替え用のスイッチを予備のシステムを選択するように同時に切り替える方法が広く採用されている。この従来の方法では、切り替え用のスイッチが送受信ノードの両方に必要になることや、送受信ノードで切り替え用のスイッチを同時に切り替えるため、制御信号のやり取りが必要になり、制御が複雑化するとともに、切り替え時間が長くなるという欠点があった。これらの欠点を解決可能な本発明の波長多重ネットワークを対象とした実施例を図15に示す。

【0054】図15は、図8に示す第8の実施例を対象に本発明を適用した第14の実施例を示すブロック図である。なお、図において、図8と同等の構成要素には同一の符号を付けて説明を省略する。図11と異なるのは、光マルチプレクサ1100の出力リンクに切り替え

22

スイッチ1700～1702を付加したこと（1101と1102については簡単のため省略した）、送受信ノード間を接続するファイバが、この切り替えスイッチ1700～1702の出力から複数（図15は2本の例を示す）接続されていることである。これら複数のファイバは、特に伝送路に収容される場合、ケーブル故障に対する信頼性を確保するため、互いに異なる経路に収容される。これらのファイバは受信ノードでは単に光カップラ1112～1114で合波されるだけであり、前述した従来のネットワークのように、受信ノードの切り替え用スイッチは不要である。

【0055】図15に示す構成において、例えば、ファイバ1103と1703に注目する。現在、ファイバ1103の方に光信号が伝送されていると仮定する。このような状況でファイバ1103に故障が発生したとする。故障の発生は、例えば、受信側の波長分離回路1115の出力を、各波長ごとに光レベルをモニタするなど的手段により検知可能である。このようにして、ファイバ1103の故障が検出されると、受信ノードは、送信ノードに対して、例えば、図15に示すネットワークとは別途に設けられた監視制御用のネットワークを介して故障の検出情報を返送する。受信ノードからの故障の検出情報を受信した送信ノードは、切り替えスイッチ1700によりファイバ1703を選択する。この結果、ファイバ1103上に伝送されていた光信号は、全てファイバ1703を経由して伝送される。光カップラ1112では、ファイバ1103またはファイバ1703からの光信号が、多重化される波長数などには関係なく合波されるから、どちらのファイバを経由して伝送されても、受信ノード側では、設定変更が一切不要である。このように、本発明の構成では、簡単な構成および制御で、伝送路故障時の復旧が迅速に行なわれるという利点がある。

【0056】以上、本発明の特徴について総括的に説明する。まず、本発明の第1の特徴は、送信ノードに配置される複数の波長可変レーザ光源において、設定波長が同一となるものが存在可能であるか、またはその動作範囲の異なるものが存在することの少なくとも一方の条件を満たすことである。図16に示す従来の構成では、各送信ノード毎に含まれるレーザ光源はもちろんのこと、ネットワーク内の全てのレーザ光源の動作波長は異なっている必要がある。なぜならば、同じ波長のレーザ光源存在すると仮定すると、それらの波長は同一の出力にルーチングされ、識別不可能となるためである。また、図17に示す従来の構成では、異なる送信ノードでは、同一の発振波長のレーザ光源が存在可能であるが、同一の送信ノード内ではレーザ光源の発振波長は互いに異なっている必要がある。このように従来の構成では、いずれも1つの送信ノード内では同一の発振波長のレーザ光源の存在は許容されない。また、従来の構成では、各レー

ザ光源の動作範囲は同一であり、互いに異なる動作範囲のレーザ光源は適用されていない。

【0057】本発明の第2の特徴は、送信ノードに、入力ポートとレーザ光源とを接続するスイッチ回路を有し、受信ノードに、受信した光信号を各波長ごとに分離した出力信号と出力ポートとを接続するスイッチ回路を有することである。従来の構成では、送信ノードに波長多重手段、受信ノードに波長多重分離手段を備えているが、スイッチ回路に相当する手段は配置されていない。

【0058】本発明の第3の特徴は、送信ノードに分散配置される波長ルーチング手段が光マルチプレクサあるいはそれと等価な機能を有する手段で構成されている点である。図16に示す従来の構成は、そもそも光マルチプレクサを含まず、また、図17に示す従来の構成では、光マルチプレクサはスター状のネットワークの中心部に集中的に設置されていたので、本発明の構成とは配設位置が異なる。

【0059】本発明の第4の特徴は、送信ノードに分散配置された光マルチプレクサが動作波長範囲の異なる複数のものが並列に設置されている点である。図16に示す従来の構成は、そもそも光マルチプレクサを含まず、また、図17に示す従来の構成では、光マルチプレクサはスター状のネットワークの中心部に集中的に設置されていたので、本発明の構成とは配設位置と個数および各個が満たすべき条件が異なる。

【0060】本発明の第5の特徴は、送信ノードに分散配置された光マルチプレクサの1つの入力ポートに複数のレーザ光源が結合する点である。また、本発明の第6の特徴は、送受信ノードが複数の経路の異なるファイバで接続され、これらのファイバは受信ノードでカップリングされている点である。さらに、本発明の第7の特徴は、送信ノードの1つが波長安定化されたレーザ光源を有し、その光出力を他のノードに分配する点である。上記第5ないし第7の特徴に該当する手段は、図16および図17に示す従来の構成には存在しない。

【0061】本発明の第8の特徴は、波長ルーチング光ファイバ網が複数個、並列に設置されることにより、波長可変素子の波長可変範囲が小さくてよいという点にある。また、波長ルーチング光ファイバ網の並列化と同時に送受信ノードにスイッチ回路を具備することにより、任意のポート間の接続が可能となる点にある。

【0062】

【発明の効果】以上、説明したように、この発明によれば、空間的に分離されたファイバでの同一波長の繰り返し使用が可能になることや、異なる波長域で動作する光源の使用が可能になるという特徴により、波長可変のレーザ光源の波長可変範囲が小さくなり、レーザ光源の製造が容易であることや、より大規模な波長多重ネットワークが構成できる利点がある。波長ルーチング手段として光マルチプレクサを適用することにより、光信号の分

配に起因する光レベル損失がなくなり、レーザ光源の発光レベル条件の緩和や、受信回路の簡易化や、より大規模な波長多重ネットワークが構成できるという利点が得られる。

【0063】また、光マルチプレクサを適用した本発明の構成では、ノンブロックとなるため、任意の入出力ポートの接続が可能となり、偏ったトラフィック需要にも容易に対応可能である。本発明は入出力信号が電気あるいは光のどちらの場合にも適用可能であり、また、装置内や局内での接続のみならず、広域的なネットワークにも適用可能であり、広い適用範囲を有する利点がある。さらに、光ファイバ故障に対して、簡易な構成で迅速に復旧できるという利点がある。なお、以下の点は従来の構成にも言える特徴であるが、光信号のルーチングを波長の設定によって実現しており、送信データの信号フォーマットや変調方式は影響を受けない。この結果、異なるビットレートの信号や、異なる伝送フォーマットの信号を統一的な処理で（すなわち、波長設定により）接続することができるため、多様なシステムを統合するネットワークを容易に構築できるという利点がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例の構成を示すブロック図である。

【図2】本発明の第2の実施例の構成を示すブロック図である。

【図3】本発明の第3の実施例の構成を示すブロック図である。

【図4】本発明の第4の実施例の構成を示すブロック図である。

【図5】本発明の第5の実施例の構成を示すブロック図である。

【図6】本発明の第6の実施例の構成を示すブロック図である。

【図7】本発明の第7の実施例の構成を示すブロック図である。

【図8】本発明の第8の実施例の構成を示すブロック図である。

【図9】本発明の第8の実施例の変形例の構成を示すブロック図である。

【図10】本発明の第9の実施例の構成を示すブロック図である。

【図11】(a) および (b) は各々本発明の第10の実施例の構成を示すブロック図である。

【図12】本発明の第11の実施例の構成を示すブロック図である。

【図13】本発明の第12の実施例の構成を示すブロック図である。

【図14】本発明の第13の実施例の構成を示すブロック図である。

【図15】本発明の第14の実施例の構成を示すブロッ

ク図である。

【図16】従来の波長多重ネットワークの構成を示すブロック図である。

【図17】従来の波長多重ネットワークの他の構成を示すブロック図である。

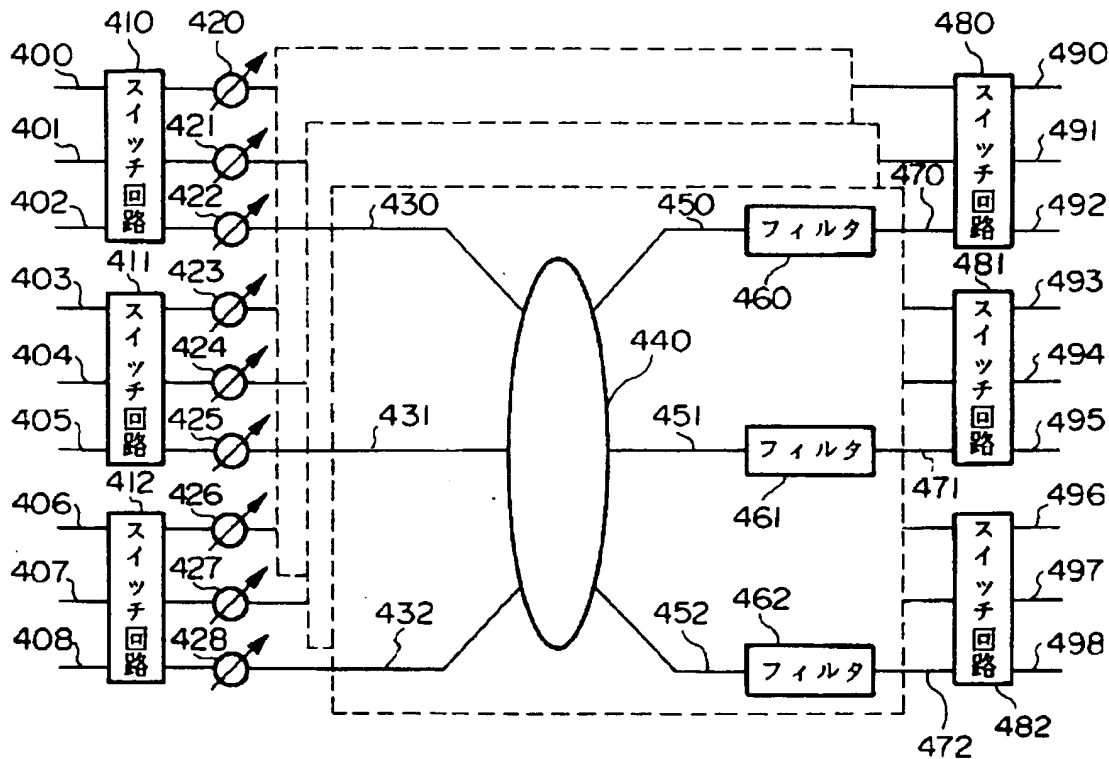
【図18】(a)～(c)は各々図17に示す光マルチプレクサによる動作を説明するためのブロック図である。

【符号の説明】

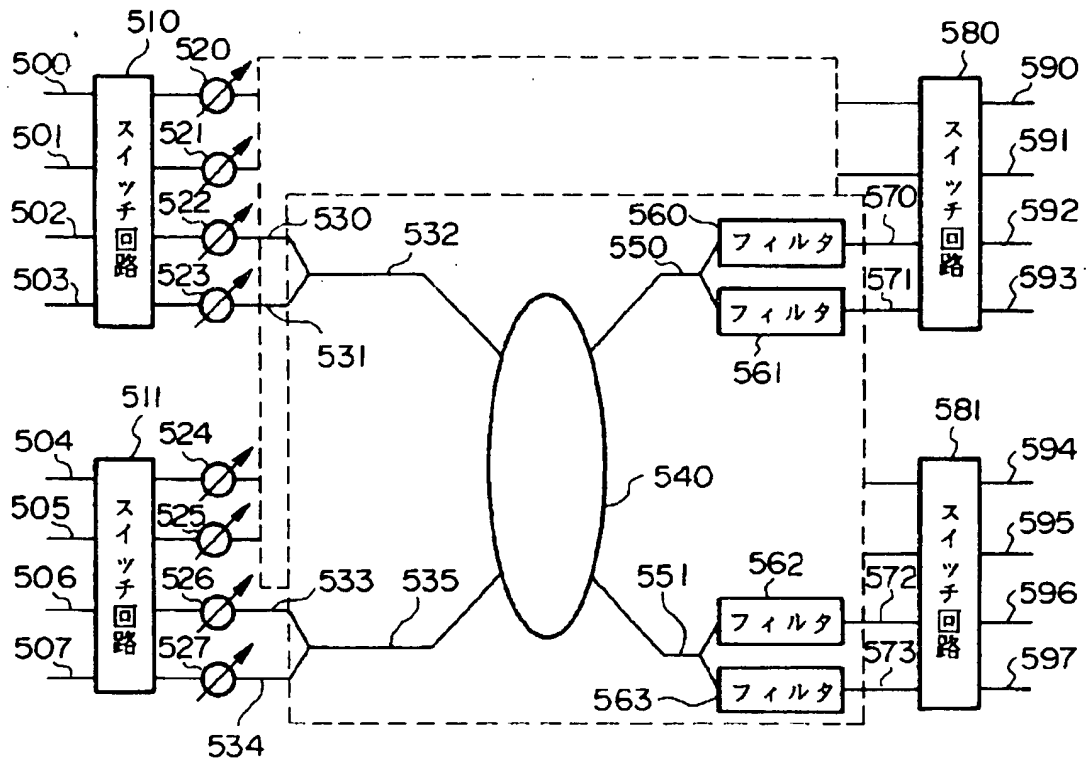
400～408 入力ポート（複数の入力ポート）  
490～498 出力ポート（複数の出力ポート）  
420～428 波長可変レーザ（レーザ光源、発振波長可変レーザ）

410～412 スイッチ回路（第1のスイッチ手段）  
480～482 スイッチ回路（第2のスイッチ手段）  
800, 801 波長ルーチング光ファイバ網  
1630～1638 （光波長変換デバイス）  
1680～1688 （光波長変換デバイス）  
1620～1625 光空間スイッチ  
440, 540, 630～634, 740～743 光スターカップラ  
460～462 フィルタ（光波長分離手段）  
470～472, 550, 551 光ファイバ  
900 光マルチプレクサ  
1120 送信部（送出手段）  
1112 光カップラ（合波手段）

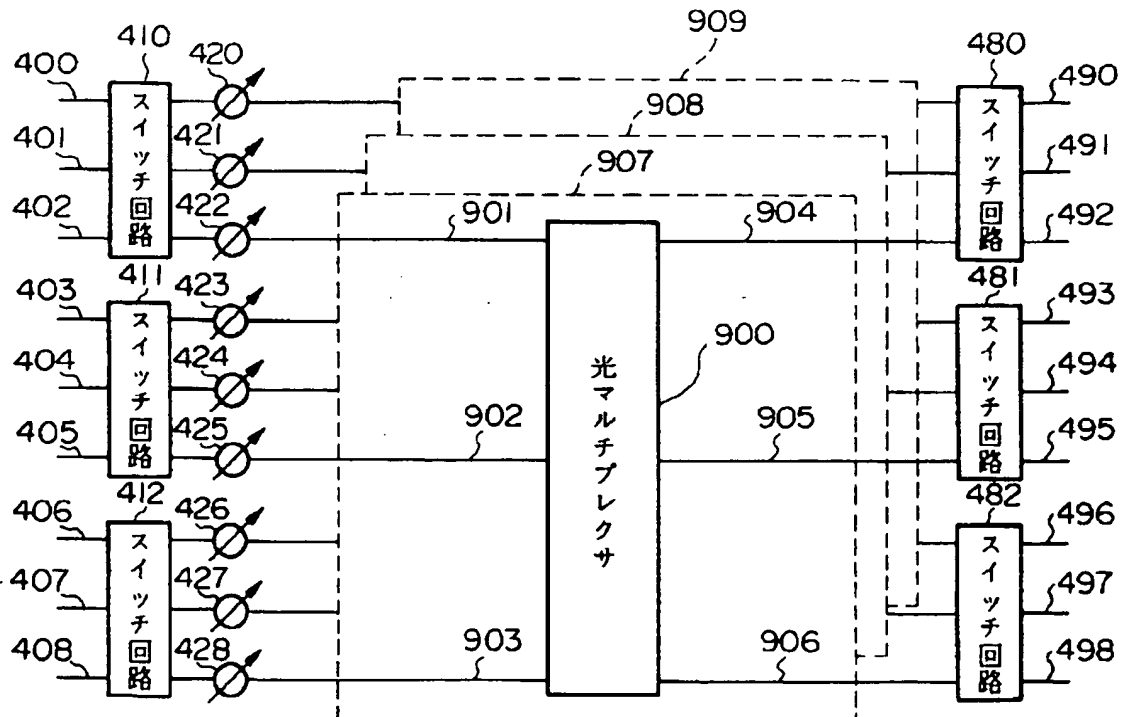
【図1】



【図2】

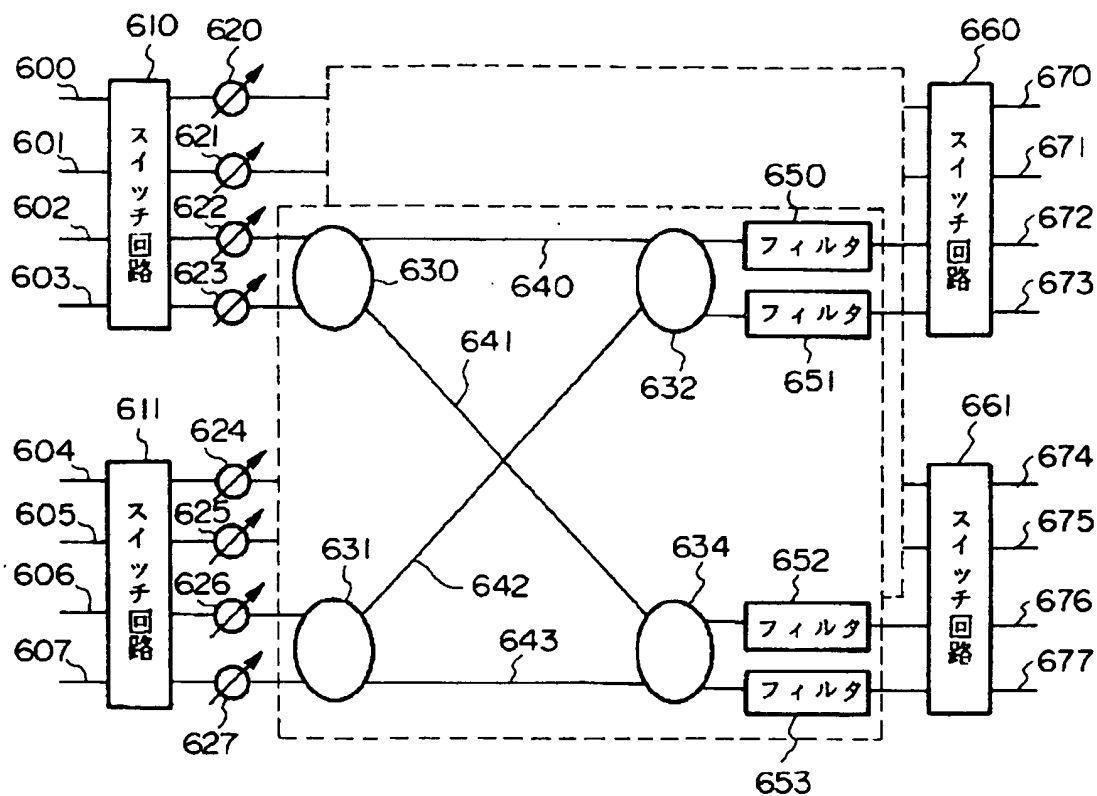


【図6】

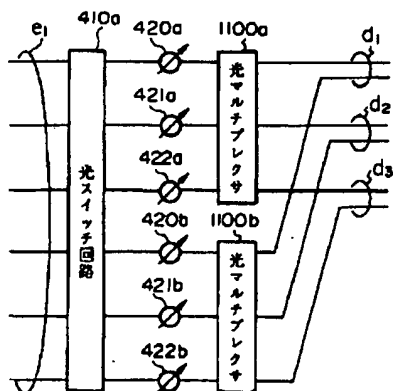




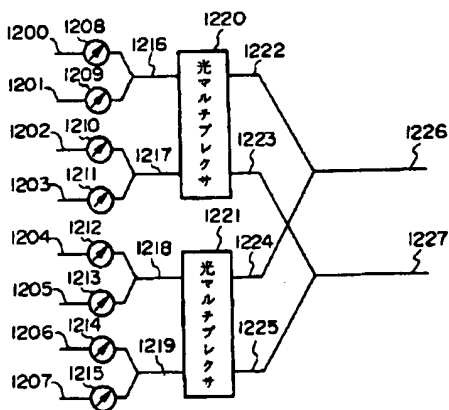
【図3】



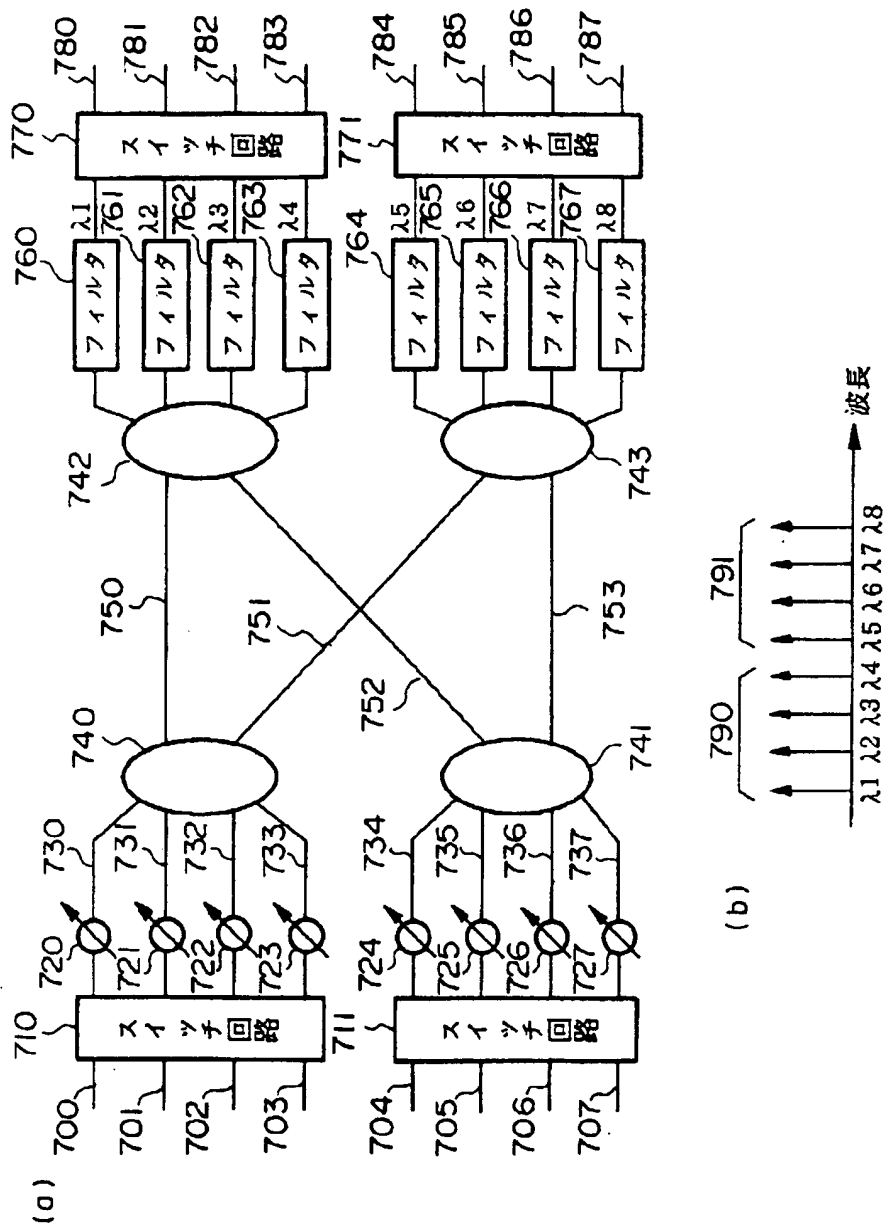
【図9】



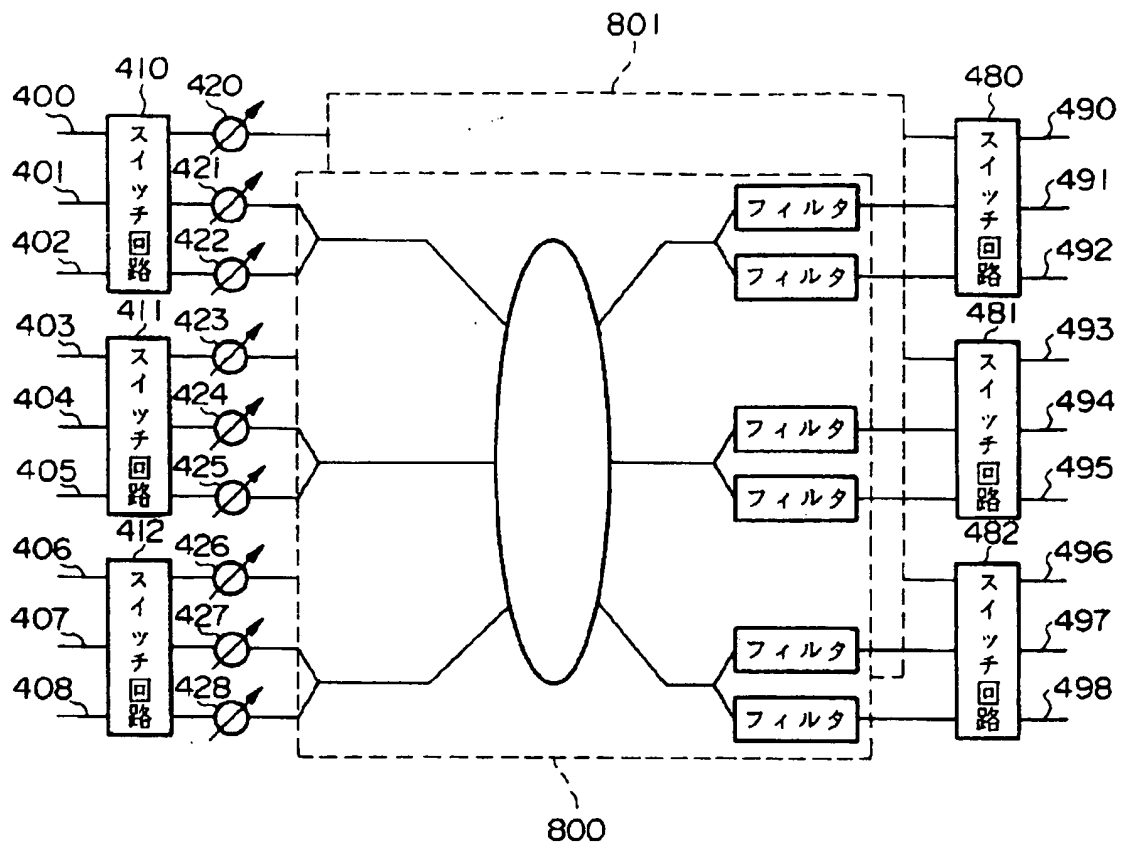
【図10】



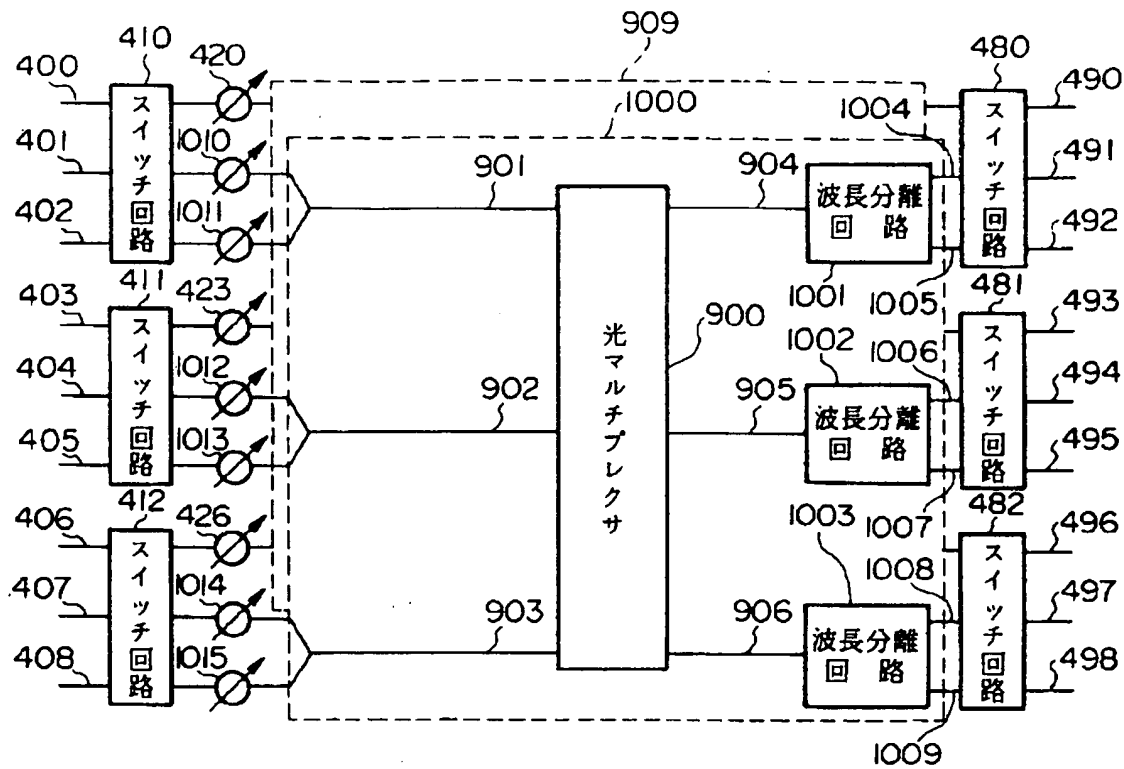
【図4】



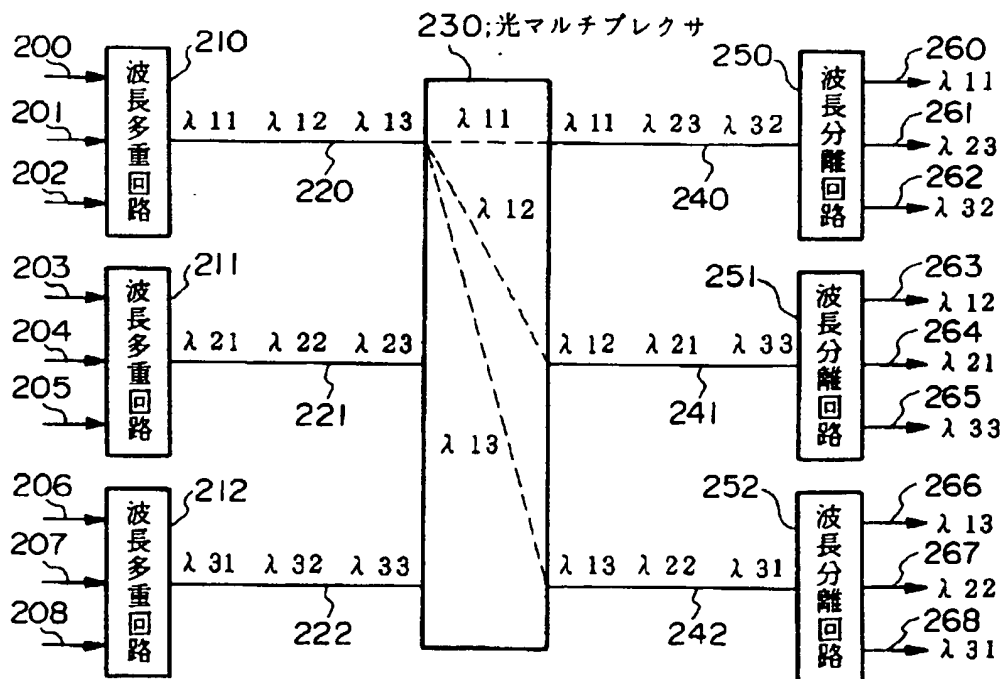
【図5】



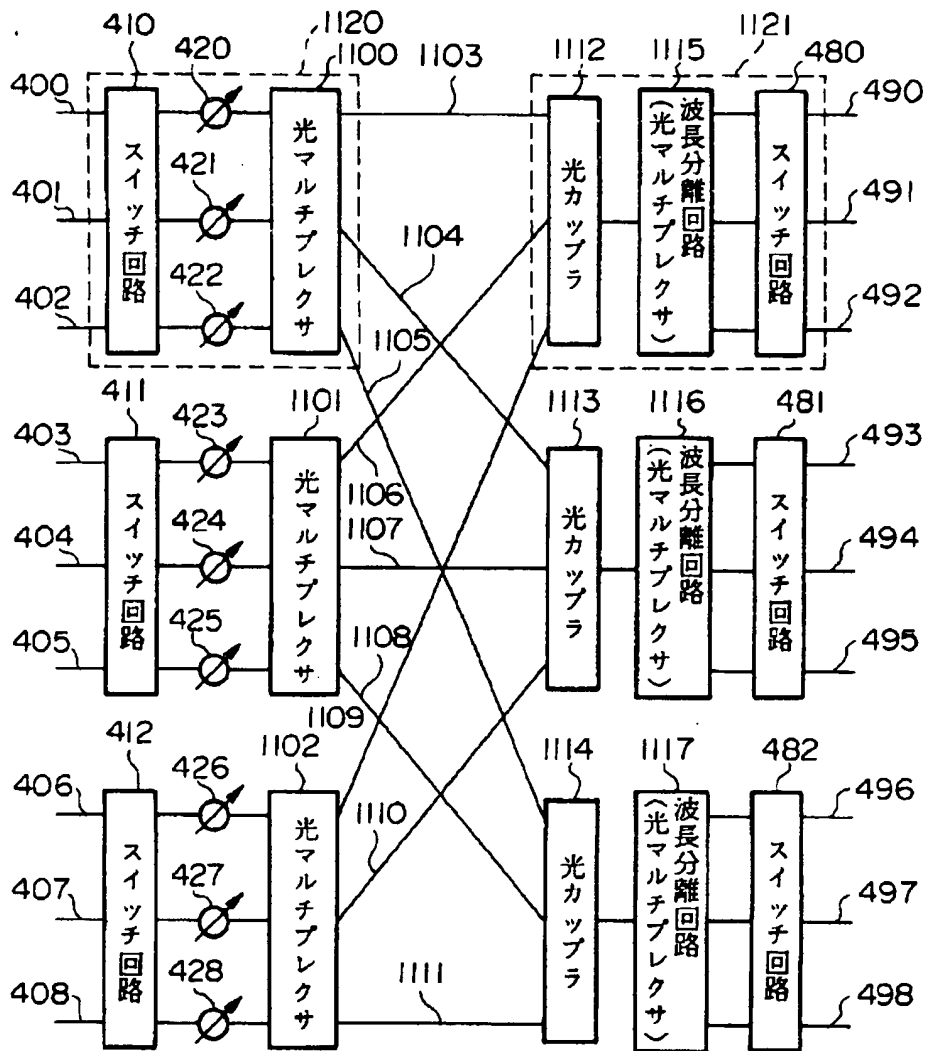
【図7】



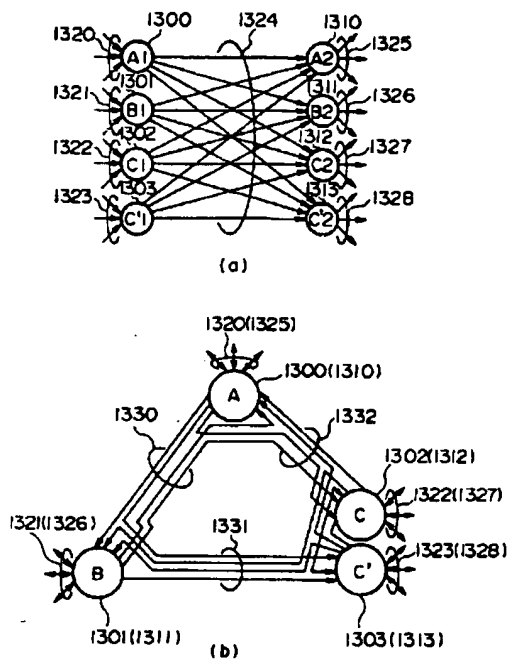
【図17】



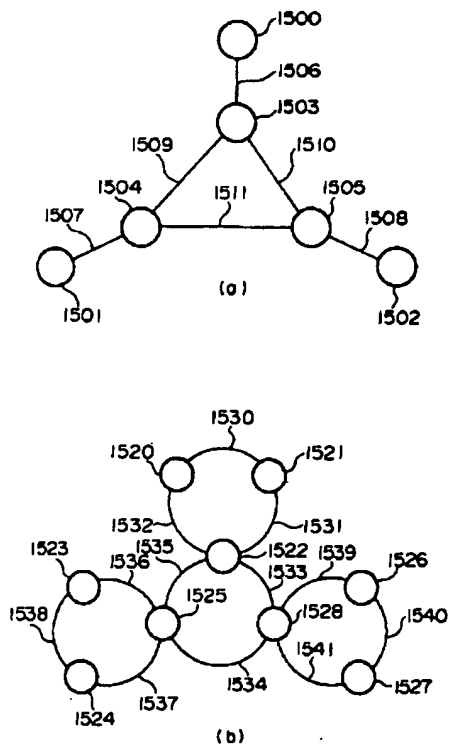
【図8】



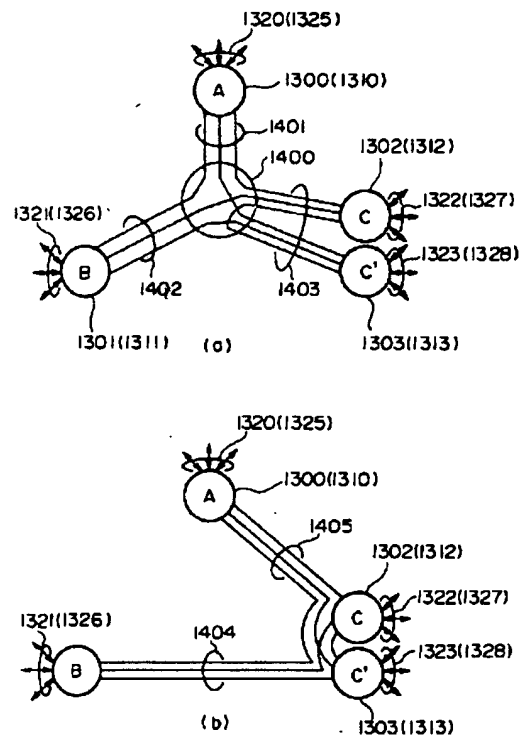
【図11】



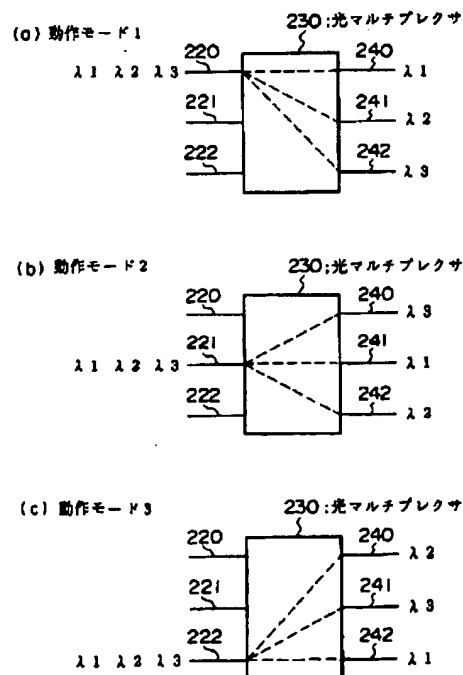
【図13】



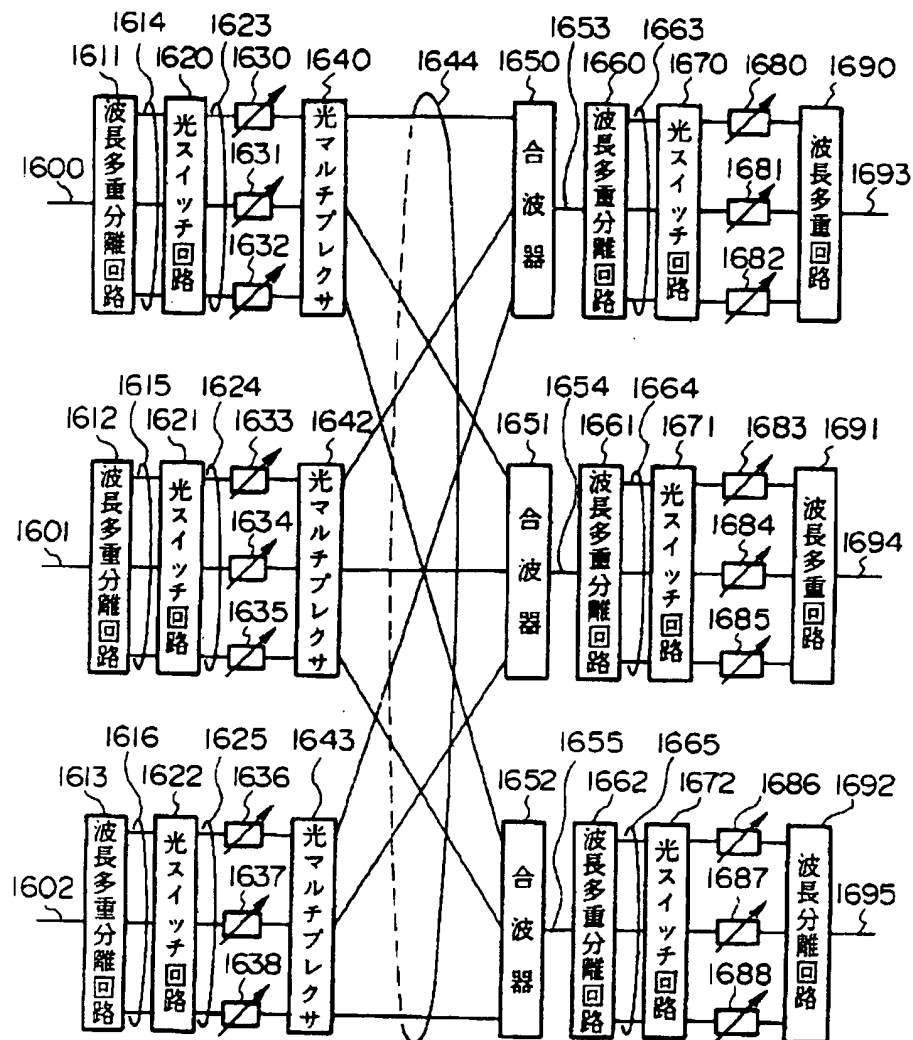
【図12】



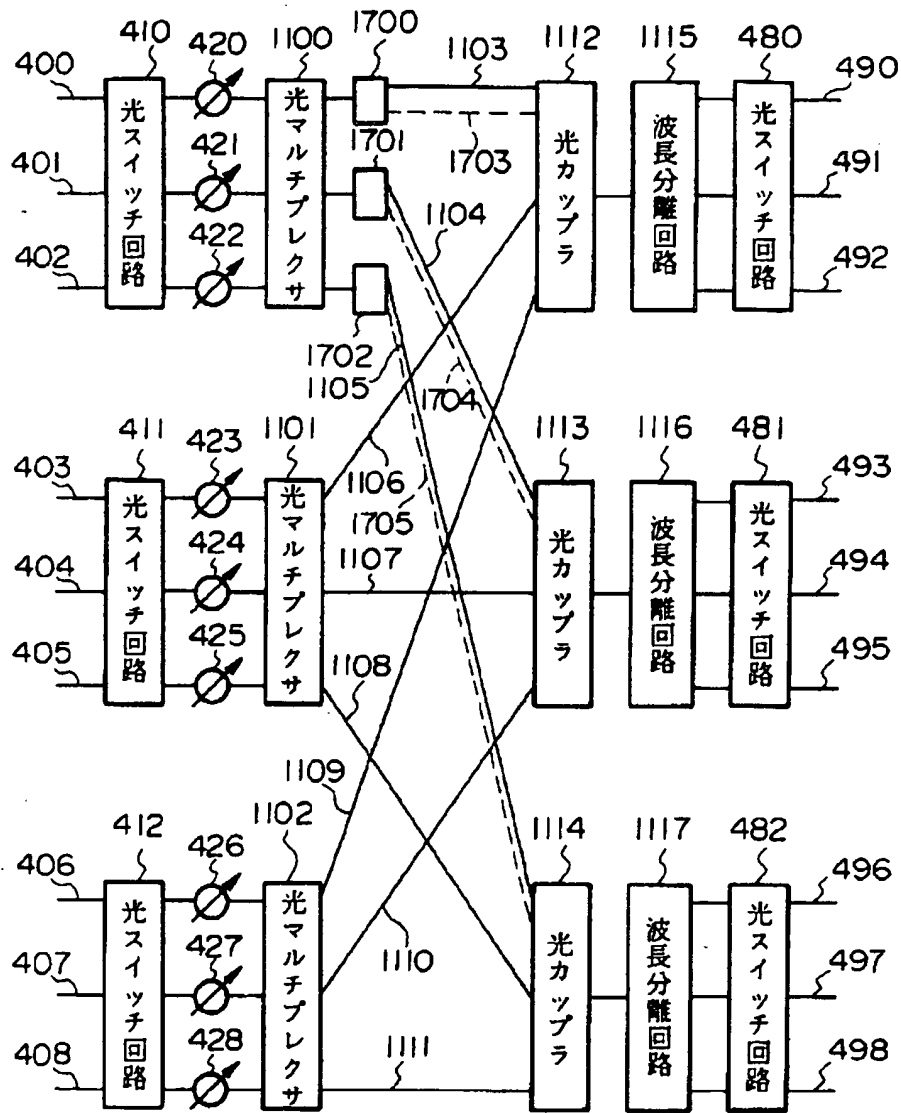
【図18】



【図14】



【図15】





【図16】

